

# CARACTERIZACIÓN DE FINCAS AGROPECUARIAS, A TRAVÉS DE LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE SERVICIOS AMBIENTALES, EN LA CUENCA DEL RÍO REVENTAZÓN- COSTA RICA

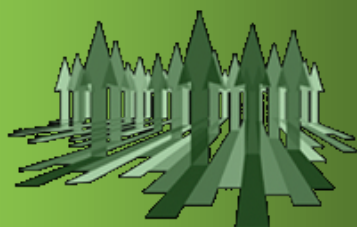
TESIS FIN DE MÁSTER

Carolina De La Torre Chuchuca

Ingeniera en Gestión Ambiental

Ecuador

Madrid, 2017





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

Máster en Planificación de Proyectos de  
Desarrollo Rural y Gestión Sostenible



**POLITÉCNICA**

**CARACTERIZACIÓN DE FINCAS  
AGROPECUARIAS, A TRAVÉS DE  
LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE  
SERVICIOS AMBIENTALES, EN  
LA CUENCA DEL RÍO  
REVENTAZÓN- COSTA RICA**

**TESIS FIN DE MÁSTER**

Carolina De La Torre Chuchuca

Ingeniera en Gestión Ambiental

Ecuador

Madrid, 2017





**POLITÉCNICA**

**Máster en Planificación de Proyectos de  
Desarrollo Rural y Gestión Sostenible**



Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del  
Medio Natural

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**CARACTERIZACIÓN DE FINCAS  
AGROPECUARIAS, A TRAVÉS DE  
LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE  
SERVICIOS AMBIENTALES, EN  
LA CUENCA DEL RÍO  
REVENTAZÓN- COSTA RICA**

Carolina De La Torre Chuchuca

Ingeniera en Gestión Ambiental

Tutor:

Msc. Pablo Martín Ortega

Junior Researcher; AGTRAIN PhD

Co-Tutor:

Nicole Sibelet

Chercheuse, Sociologue, Anthropologue

CIRAD UMR Innovation France, CATIE Costa Rica

Madrid, 2017



# CARACTERIZACIÓN DE FINCAS AGROPECUARIAS, A TRAVÉS DE LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE SERVICIOS AMBIENTALES, EN LA CUENCA DEL RÍO REVENTAZÓN- COSTA RICA

## Resumen

La deforestación de los bosques ocasionada por el incremento de la intensidad de las actividades antropogénicas tiene un efecto significativo sobre la provisión de servicios ambientales (SA) de los ecosistemas generando problemas ambientales y sociales en las comunidades locales. Costa Rica ha implementado medidas para asegurar el mantenimiento y conservación de la biodiversidad, ecosistemas y sus servicios ambientales. El estudio tiene como objetivo analizar los SA de: captación de carbono y biodiversidad asignando índices ecológicos según los usos de suelo identificados para 26 fincas agropecuarias de la cuenca del Río Reventazón-Costa Rica. La estructura del trabajo consta de: (1) valoración de SA y (2) caracterización de otras variables de relevancia. Se ha utilizado un índice ecológico aplicado a evaluaciones de SA en sistemas silvopastoriles considerando 28 diferentes categorías de uso. Las diferencias físicas entre las fincas que presentan mayores puntajes y las que presentan puntajes menores radican en 4 factores: (1) relieve, (2) precipitación, (3) temperaturas, (4) pendiente. Los factores que han presentado una incidencia positiva en los índices son: cobertura vegetal y diversificación de usos. Las fincas con climas húmedos, pisos altitudinales montano bajo y montano registran los índices más altos, favoreciendo la presencia de usos de suelo con mejores SA.

**Palabras clave:** *Cuenca Río Reventazón - Índice ecológico - Servicios ambientales – Sistemas de Información Geográfica*

## Abstract

Deforestation as a result of human activities has an impact on environmental services (SE) and it has generated more socio-environmental problems in the local communities. Cost Rica has implemented actions in order to preserve biodiversity, ecosystems and its environmental services. The study aims to analyze the ES of: carbon capture and biodiversity by assigning ecological indexes according to land use categories, identified from 26 farms in the Reventazón-Costa Rica River basin. The work structure consists of: (1) ES valuation and (2) characterization of other relevant variables. The ecological index applied to ES assessments in silvopastoral systems has been used considering 28 different categories of use. The physical differences between the farms with higher index values and the ones with lower index values are influenced by: (1) landform, (2) precipitation, (3) temperature, (4) slope. The factors that have a positive impact on the indexes are: vegetation cover and diversification of uses. The farms with humid climate, lower montane and montane rainforest, registered the highest indexes, favoring the presence of land uses with better ES.

**Keywords:** *Reventazón River basin -Ecological Index - Environmental Services - Geographic Information Systems*

## Introducción

Los servicios ambientales se definen como aquellos beneficios directos o indirectos que la humanidad obtiene de los diversos ecosistemas (Wunder, Wertz-Kanounnikoff, & Moreno-Sánchez, 2007), aquí radica su importancia social y ambiental. Existen diversos tipos de servicios ambientales, los más comunes son los de provisión (alimentos, madera, recursos medicinales); regulación (regulación climática, protección costera); cultural (recreación y estética) y de soporte (fotosíntesis, formación de suelo) (Häyhä & Franzese, 2014). En algunos casos estos beneficios pueden ser cuantificados y valorados de forma directa, pero en otros muchos casos son intangibles como: la biodiversidad, la polinización, las reservas genéticas, entre otros (Wunder et al., 2007). Esto limita los procesos de toma de decisiones para el manejo, protección y conservación de los ecosistemas.

Se han llevado a cabo algunas iniciativas de valoración y cuantificación de los servicios ambientales con el fin de valorar el capital natural. Una de las más relevantes ha sido la evaluación de ecosistemas del milenio. Además, de la iniciativa “La Economía de la biodiversidad de ecosistemas” que fue estructurada para identificar los beneficios económicos globales de la biodiversidad, centrándose en la valoración de los servicios ambientales (Häyhä & Franzese, 2014). Actualmente, para la evaluación de servicios ambientales, se pueden reconocer dos ejes principales: Evaluación de los flujos físicos reales de los servicios (por ejemplo: toneladas de alimento, de madera, de productos, toneladas de CO<sub>2</sub> capturado) o evaluación de su valor monetario (Häyhä & Franzese, 2014).

Se debe tener en cuenta que la provisión de servicios ambientales en un ecosistema va a depender de forma directa del uso del suelo e intensidad de actividades en el mismo (Metzger, Rounsevell, Acosta-Michlik, Leemans, & Schröter, 2006). A nivel mundial, los cambios de uso de suelo que se registran en las últimas décadas han sido drásticos e intensivos causando un deterioro en los ecosistemas y por ende en la provisión de sus servicios (Martínez et al., 2009). En Costa Rica, el área boscosa decreció de un 67% en 1940 al 32% en 1977 y al 17% en 1983 (Vallet et al., 2016). Las pérdidas de cobertura de bosque primario entre los años 1986 y 2013 generaron aproximadamente 233 millones de toneladas en emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>-e), lo que equivale a 8 millones de tCO<sub>2</sub>-e por año, de las cuales un 98.35% son atribuibles a actividades antropogénicas. Al final de 1986, Costa Rica contaba con un 8.15% del territorio continental de bosques secundarios y áreas de plantaciones forestales, este porcentaje incrementó al 17.96% al final del 2013 (Pedroni, Espejo, & Villegas, 2015). En áreas boscosas de montaña como en la cuenca del Reventazón, la deforestación se mantuvo en niveles bajos, alrededor del 0,3% por año, sin embargo aumentó fuertemente después hasta el 3,8% por año hasta la década de los 80 (Vallet et al., 2016). Analizando la dinámica y funcionalidad de estos ecosistemas, con la deforestación se incrementaron servicios ambientales de provisión de alimentos, madera, productos ganaderos, sin embargo disminuyeron servicios como la captación de carbono y los servicios hidrológicos. La tasa de erosión se incrementó rápidamente entre los años 70 y los 90 en las áreas cultivadas del Reventazón, generando un aumento de los costos de limpieza de presas hidroeléctricas (Vallet et al., 2016).



Entre 1980 y 2000 en Costa Rica ocurrieron una serie de transformaciones económicas y políticas de regulación ambiental. Desde inicio de los años 80, se establecieron políticas para el incentivo de reforestación y manejo forestal en el sector privado (Vallet et al., 2016). Además, la Ley forestal No. 7575 de 1996 ya reconoce 4 tipos de servicios ambientales que proveen los bosques: (1) mitigación al cambio climático y emisión de gases de efecto invernadero; (2) servicios hidrológicos; (3) conservación de la biodiversidad; (4) belleza escénica para recreación. Esta fue la base regulatoria para establecer el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), entidad responsable del programa de pago por servicios ambientales (PSA) a productores privados (Pagiola, 2006). El interés por la implementación de este tipo de programas ha ido en aumento (Villanueva, Ibrahim, Casasola, & Sepúlveda, 2011), ya que se trata de un mecanismo de incentivo financiero real a actores locales para la conservación de ecosistemas que proporcionan determinados servicios (Engel, Pagiola, & Wunder, 2008). El programa PSA en Costa Rica es uno de los pioneros en la región, iniciando su implementación en 1997 con el enfoque de compensación (Robalino et al., 2008). Esta tendencia nacional en Costa Rica demuestra la relevancia social y económica del presente análisis y evaluación de servicios ambientales en diferentes tipos de ecosistemas y usos de suelo.

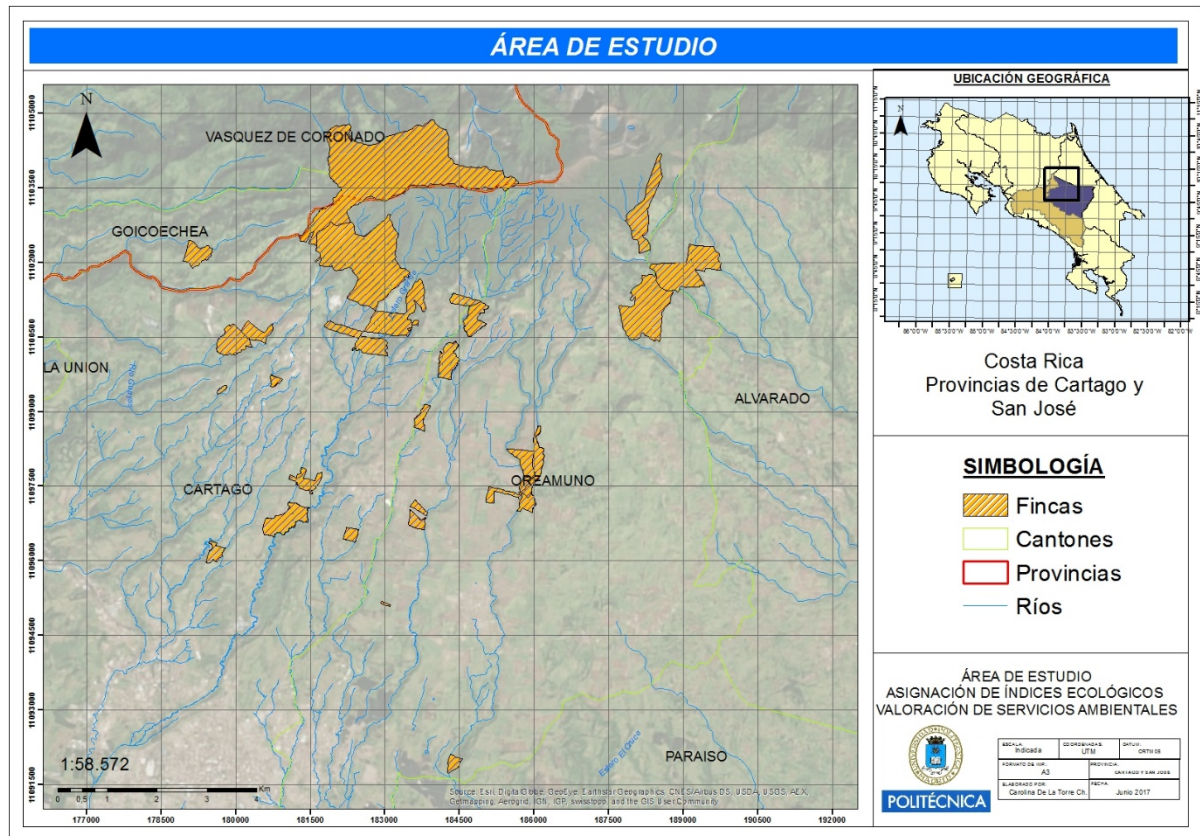
Este estudio tiene como objetivo evaluar los servicios ambientales de captura de carbono y biodiversidad, de 26 fincas agropecuarias ubicadas en las provincias de Cartago y San José, Cuenca del Río Reventazón Costa Rica. Se ha utilizado un índice ecológico aplicado a evaluaciones de servicios ambientales en sistemas silvopastoriles para el monitoreo del servicio ambiental de biodiversidad y de almacenamiento de carbono (Villanueva et al., 2011). Durante la investigación se identificaron los usos de suelos presentes en la zona de estudio, se realizó la caracterización física, biótica y socioeconómica de la zona con información disponible, y la evaluación de los niveles de los índices en función de otras variables de interés.

## **Metodología**

### **Zona de estudio**

La zona de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del Río Reventazón, Provincia de Cartago Costa Rica, siendo parte de la región central oriental del país (Figura 1). Una de las principales actividades económicas de esta región es la producción agropecuaria. Según datos del censo agropecuario, del total (136.257,5 ha) de fincas presentes el 32% (43.183,9 ha) destinada a bosques; 30% (41.368 ha) se destina a pastos; un 26% (35.827 ha) a cultivos permanentes, y un 9% (12.118,2 ha) a tierras de labranza (incluye cultivos anuales, tierras de rastrojo, tierras de descanso y otras tierras de labranza). En esta región, se registran 12.796 personas productoras, el 0,3% de la población total costarricense, del total de productores en la región, el 16% se dedica a la producción de hortalizas abarcando una superficie de 5.853 ha. El cultivo de papa es uno de los más relevantes representando el 32% del área de cultivo de hortalizas (CSRA Central Oriental, 2015).

**Figura 1**  
**Ubicación de la zona de estudio**



Fuente: Elaboración propia.

Además de la importancia agrícola de la zona, la cuenca del Río Reventazón tiene una gran importancia en el sector hidroeléctrico al proporcionar alrededor de 378,6 MW lo que representan el 37,82% de la hidroelectricidad nacional (CSRA Central Oriental, 2015). El área se encuentra contigua al Volcán Irazú y al área de conservación de la cordillera volcánica central de Talamanca, que al contar con una gama de formaciones geológicas y un amplio rango altitudinal (de 1000 msnm a más de 3000 msnm), presenta una variedad climática y gran diversidad de ecosistemas (como bosque tropical muy húmedo, bosque nuboso, páramo subalpino, entre otros) (Canet, 2008), que le otorgan una importancia ecológica a la región.

La investigación se aplicó en 26 fincas agrícolas ubicadas en diferentes cantones de la zona. Los cantones involucrados de la provincia de Cartago son: Alvarado, Cartago y Oreamuno, con sus respectivos distritos: Pacayas, San Nicolás, Llano Grande, Tierra Blanca, Potrero Cerrado, COT, Santa Rosa. De la provincia de San José, los cantones Goicoechea y Vásquez de Coronado con sus distritos Rancho Redondo y Cascajal (Figura 1).

El análisis consta de: (1) valoración de servicios ambientales de biodiversidad y carbono a través de los diferentes usos de suelo de las fincas y (2) la caracterización de variables física, bióticas y socio económicas vinculadas a las fincas.

## Valoración de servicios ambientales

Para la valoración de servicios ambientales, se ha utilizado el índice ecológico propuesto por (Villanueva et al., 2011) como herramienta para Programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), evaluando zonas agrícolas de Costa Rica, Nicaragua y Colombia. El índice ha sido desarrollado para ser utilizado en el control y monitoreo de los servicios ambientales que proveen las fincas de producción agrícola, según los cambios de uso de suelo que se registren (Villanueva et al., 2011).

Fue construido con información secundaria disponible de investigaciones del Centro de Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), otros centros de investigación de Latinoamérica y estimaciones de expertos. El índice está compuesto por dos subíndices: (a) índice A o de Biodiversidad, que valora la contribución de los usos de suelo en la conservación de la biodiversidad (riqueza de especies, entre otros índices); (b) Índice B o de captación de carbono (toneladas de carbono por hectárea – t C ha<sup>-1</sup>, evaluando el potencial de los diferentes usos de suelo para la fijación de carbono. Los valores determinados se encuentran en el rango de 0.0 a 1, representando el valor 1 la mayor contribución de la categoría en cada servicio ecosistémico de biodiversidad o carbono. La suma de los dos subíndices determina el total de la contribución de cada uso de suelo (Villanueva et al., 2011). El índice fue validado por su autor a través de un análisis de correlación con el índice de biodiversidad para servicios ambientales (IBSA) desarrollado por Saénz (2005) y el enfoque de CO2FIX model (Maser et al., 2003).

La metodología ofrece 28 diversas categorías de usos de suelo, contemplando desde cultivos agrícolas de ciclo corto hasta bosques primarios (Anexo 1). Además, para esta investigación, se ha aumentado la categoría de infraestructura donde se ha considerado áreas destinadas a construcciones, infraestructuras vial, asignándole la clave NA y los valores de 0.0 respectivamente, ya que no contribuyen a los servicios ambientales.

Para la asignación del índice correspondiente, fue necesaria la identificación de los usos de suelo presentes en cada finca. En este análisis, se utilizaron programas de sistemas de información geográfica como ArcGIS versión 10® software por Esri y Google Earth por © Google Inc. e información recolectada mediante entrevistas a los propietarios de las actividades desarrolladas en cada finca. El proceso consistió en la creación de entidades o polígonos dentro de las fincas para cada categoría de uso de suelo correspondiente. La asignación de la categoría de las entidades creadas se realizó a través de interpretación visual de las imágenes satelitales y áreas que proporciona la herramienta de World Imagery de ArcGIS® by Esri y Google Earth by © Google Inc. Este proceso generó capas vectoriales de la clasificación de las fincas, posteriormente fueron calculadas las superficies de las entidades para la valoración de los servicios ambientales, según la siguiente fórmula:

$$\text{Índice ecológico} = [(Índice A \times Superficie\ categoría\ m) + (Índice B \times Superficie\ de\ categoría\ m)] \dots \\ + [(Índice A \times Superficie\ de\ categoría\ n) + (Índice B \times Superficie\ de\ categoría\ n)]$$

El valor del índice ecológico fue calculado para cada finca, realizando la sumatoria de los valores de los subíndices de cada categoría de uso de suelo identificada por las superficies de dichas categorías. De esta forma se obtuvieron valores totales de índices ecológicos considerando el total de hectáreas, valores de índices A e índice B por fincas. Además, se realizó el cálculo de los puntos de cada índice por hectárea de finca (Valor total/hectárea de

la finca). Con los resultados de obtenidos se realizaron análisis estadísticos, como: análisis de porcentaje de usos más comunes en la zona de estudio, análisis de distribución de datos obtenidos, análisis de relación entre valores y superficies.

### Caracterización de variables vinculadas a las fincas

Las fincas han sido caracterizadas según 3 tipos de variables: físicas, bióticas y socioeconómicas. Esta caracterización se realizó a través de información cartográfica disponible (Tabla 1).

**Tabla 1: Información cartográfica para caracterización**

Tipo de variable	Variable	Tipo de información	Fuente
<b>Física</b>	Cuerpos hídricos: Ríos	Capa vectorial. Polilíneas	Instituto Geográfico Nacional- Costa Rica Hojas Cartográficas 1:50 000
<b>Física</b>	Regiones climáticas	Capa vectorial: polígonos	Balance Hídrico superficial de Costa Rica periodo 1970-2002, documento técnico del PHI-LAC número 10. IMN, ICE y CNHM Costa Rica. Resource Inventory Center, Corps Of Ingeneerx, US. Army, 1965.
<b>Física</b>	Relieve: Curvas de nivel cada 100 metros	Capa vectorial: polígonos	Instituto Geográfico Nacional-Costa Rica. Hojas 1 : 200 000
<b>Física</b>	Taxonomía de suelos: Mapa Digital de suelos, órdenes y subórdenes, escala 1:200 000. Sistema de clasificación: Soil Taxonomy USDA. 2010	Capa vectorial: polígonos	UCR, Centro de investigaciones Agronómicas, Facultad de Ciencias Agroalimentarias.
<b>Física</b>	Pendiente	Capa vectorial: polígonos	UCR, Centro de investigaciones Agronómicas, Facultad de Ciencias Agroalimentarias.
<b>Física</b>	Geología (Hojas cartográficas 1:50 000) y geomorfología	Capa vectorial: polígonos	Instituto Geográfico Nacional- Costa Rica
<b>Física</b>	Precipitación media anual	Capa vectorial: polígonos	Atlas Climatológico. Instituto Meteorológico Nacional. Año 2010.
<b>Física</b>	Temperatura mínima y máxima	Capa vectorial: polígonos	Atlas Climatológico. Instituto Meteorológico Nacional. Año 2010.
<b>Bióticas</b>	Corredor biológico	Capa vectorial: polígonos	Sistema Nacional de áreas de conservación Costa Rica (SINAC, 2009)
<b>Bióticas</b>	Zonas de vida y piso altitudinal	Capa vectorial: polígonos	Mapa Ecológico de Costa Rica, según el sistema de clasificación de Zonas de Vida del mundo de L. R. Holdridge (Bolaños, R; Watson; V. 1993 / CCT / esc: 1: 200 000). Modificado en Diciembre 2004.
<b>Bióticas</b>	Unidades bióticas	Capa vectorial: polígonos	Mapa de Unidades Bióticas de Costa Rica (Herrera W. y Gómez, L. D, 1993). Esc: 1 : 685 000

Otros datos socioeconómicos fueron recolectados a través de 1 cuestionarios por finca aplicados a los propietarios. El cuestionario fue constituido en 3 secciones principales detalladas en la Tabla 2.

**Tabla 2: Información socioeconómica en cuestionarios**

Sección		
Empresa o persona	Finca	Pagos por servicios ambientales

<b>Datos recolectados</b>	Años de actividad, Años de constitución de la empresa Número de empleados Actividades Renta Residencia habitual Formación académica	Percepción de los entrevistados acerca de: variables biofísicas de la finca (acceso, cobertura vegetal, centros urbanos cercanos Ingreso Percepción del bosque Uso histórico, usos del bosque, Usos de la tierra Precio del terreno Situación legal	Percepción de los propietarios acerca de los servicios ambientales que ofrece la finca; su importancia ambiental y social Problemáticas ambientales Interés sobre el programa Factores de inclusión o exclusión del programa Información de su aplicación en el programa, en caso de ya formar parte de este.
---------------------------	---	--	---

## Resultados

### Caracterización de usos de suelo

En la asignación de categorías de uso de suelo en las fincas, se identificaron 15 clases de las establecidas en la metodología (Villanueva et al., 2011). A continuación, se encuentra el detalle de cada categoría con el área respectiva identificada, y el porcentaje que representa de toda el área de estudio, Tabla 3.

**Tabla 3: Caracterización de usos de suelo en área de estudio**

Clave	Categoría	Descripción	Cobertura	
			ha	%
I	Cultivos de ciclo corto	Ciclo menor a 12 meses, como granos (maíz y fréjol), verduras y tubérculos.	159.81	14.12%
II	Pasto degradado	Con menos del 50% de cobertura de hierba y forraje deseado; presencia mínima de árboles y/o arbustos. Presenta claros signos de erosión.	0.62	0.06%
III	Pasto natural sin árboles	Pasto dominado por especies nativas y/o introducidas sin árboles o arbustos	0.30	0.03%
IV	Pasto mejorado sin árboles	Pasto dominado por especies introducidas resistentes y con alta productividad, con cobertura superior al 90% y sin árboles y/o arbustos.	223.54	19.75%
VI	Pasto natural con baja densidad de árboles	Pasto dominado por especies nativas o naturales con densidad inferior a 30 árboles por ha, DAP mayor a 5 cm y menor de 2m de altura	17.64	1.56%
VIII	Cerca viva simple	Sistema lineal de árboles que son periódicamente podados (al menos 2 veces al año) para forraje o abono.	0.32	0.03%
X	Plantaciones de huerto (monocultivo)	Plantaciones de árboles frutales perennes o árboles frutales tropicales o cítricos semi-perennes cultivados de forma homogénea.	3.20	0.28%
XI	Forraje de hierba	Pasto cortado o alta densidad de forraje de caña de azúcar; con o sin árboles	9.12	0.81%
XII	Pastos mejorados con baja densidad arbórea	Pastos dominados por especies muy resistentes, altamente productivas o especies introducidas con densidad menor a 30 árboles por ha, DAP mayor a 5 cm y 2 metros de altura.	175.30	15.49%
XIX	Sistema agroforestal de cultivos de café	Plantaciones de café con árboles de sombra de varias especies, con la cubierta de al menos el 25% del dosel o estrato superior	0.36	0.03%
XXIII	Sucesión de matorrales	Vegetación nativa en sucesión natural de al menos 5 m de altura.	6.53	0.58%
XXVI	Bosque secundario intervenido	Bosque nativo con un área de base mayor a 10 m <sup>2</sup> , intervenido (alta extracción de árboles no maderables, caza, corte parcial); remanentes de cualquier tamaño.	73.20	6.47%
XXVII	Bosque secundario:	Bosque nativo con moderadas intervenciones en las últimas décadas; alta biodiversidad; área mayor a 10 m <sup>2</sup> ; remanentes de cualquier tamaño.	71.88	6.35%
XXVIII	Bosque primario:	Bosque nativo sin intervenciones en los últimos 30 años, más del 80% de la cobertura vegetal y alta biodiversidad, remanentes de cualquier tamaño.	380.35	33.61%
NA	Infraestructura (vías, casas hacienda, etc.)		9.62	0.85%
<b>Total</b>			<b>1,131.80</b>	<b>100%?</b>

El área total de estudio, entre todas las fincas, suma una superficie de 1,131.80 ha, de la cual el 33.61% ha sido asignado a la categoría XXVIII correspondiente a bosque primario, siendo el porcentaje más alto en superficie. Sin embargo, esta categoría solo se encuentra presente en 6 fincas de las 26 (23%). Las fincas que presentan mayor superficie de esta categoría se encuentran próximas a áreas protegidas como la cordillera volcánica central y al Parque Nacional Volcán Irazú.

La categoría IV, correspondiente a pasto mejorado sin árboles, cubre el segundo mayor porcentaje del área total (20%). Las dos siguientes categorías corresponden a XII (Pastos mejorados con baja densidad arbórea) (15 %) y la categoría I (cultivos de ciclo corto), presentes en 22 (85%) y 8 (31%) fincas respectivamente. Analizando los usos generales de cultivo, pasto y bosque y agrupando todas las categorías relacionadas a estos usos, se puede determinar que el uso con mayor porcentaje de cobertura son los bosques con el 46% del área estudiada, seguido por los pastizales con el 37% y finalmente los cultivos que cuentan con el 14% de cobertura, dando a conocer que el área de estudio es una zona que cuenta con una cobertura forestal considerable.

Los usos más comunes identificados, es decir aquellos que se encuentran en mayor número de fincas, son las categorías I (cultivo de ciclo corto) e infraestructura presente en 22 de las 26 fincas (85%); seguido por la categoría XXVI (Bosque secundario intervenido) en 19 de las 26 fincas (73%) y la categoría IV (pasto mejorado sin árboles) en 14 de las 26 (54%). Si bien, dos de los usos más comunes están relacionados a las actividades agrícolas o ganaderas, se han identificado otras categorías que ocupan importantes áreas dentro la zona dándole mayor diversidad de usos a la tierra.

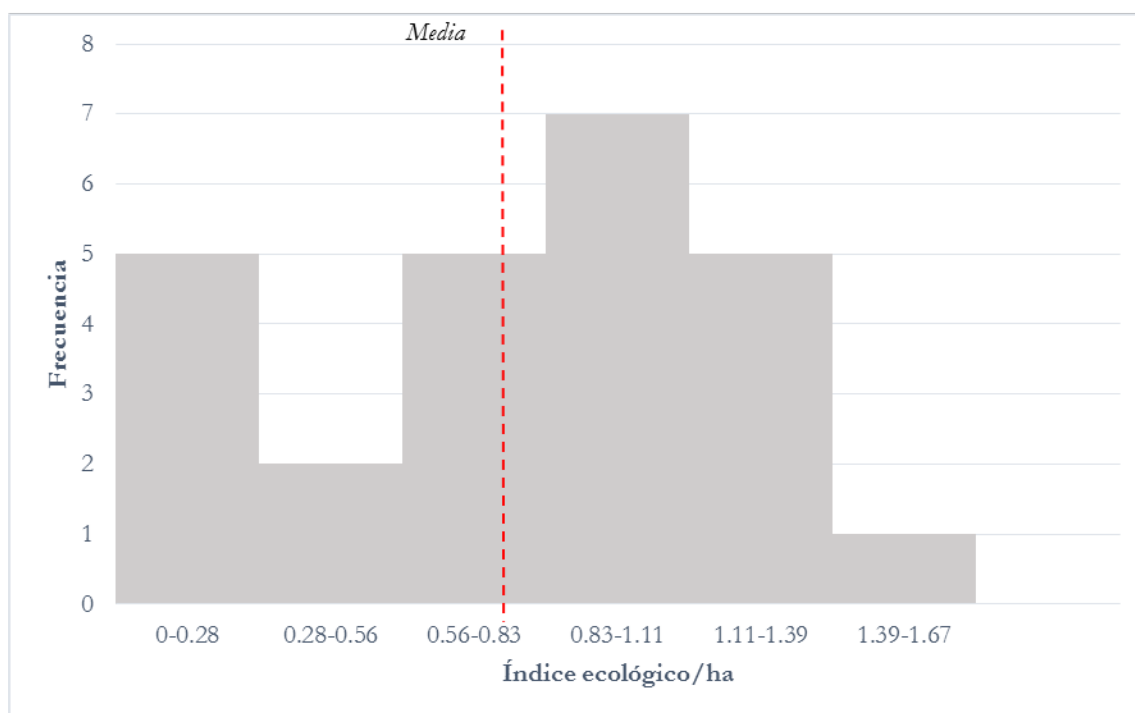
### **Estados de los servicios ambientales de las fincas, su relación con superficies de usos y categorías.**

Los valores totales del índice A (de biodiversidad) obtenidos de cada finca, abarcan desde 0 a 306.19. Los valores totales del índice B (carbono) de cada finca abarcan desde 0 a 330.01 y los valores totales del índice ecológico (A+B) abarcan desde 0 a 636.20. En los tres casos, los dos valores más altos corresponden a las fincas que cuentan con extensiones mayores a 190 ha. Los valores no presentan una distribución normal. Una de las fincas presenta índices con valor 0, debido a que los usos identificados para esta finca son: cultivos de ciclo corto e infraestructura que no cuentan con ningún aporte al índice ecológico de servicios ambientales.

Con respecto a los valores de los índices ecológicos/ha, la figura 2, muestra la distribución de los resultados obtenidos. Los valores obtenidos abarcan desde 0 a 1.66. La media de estos valores se encuentra en 0.75 puntos.

**Figura 2**

### **Valores de índice ecológico por hectárea por finca**



El rango de los valores obtenidos para los índices A y B por ha de las fincas se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4: Valores índice A y B**

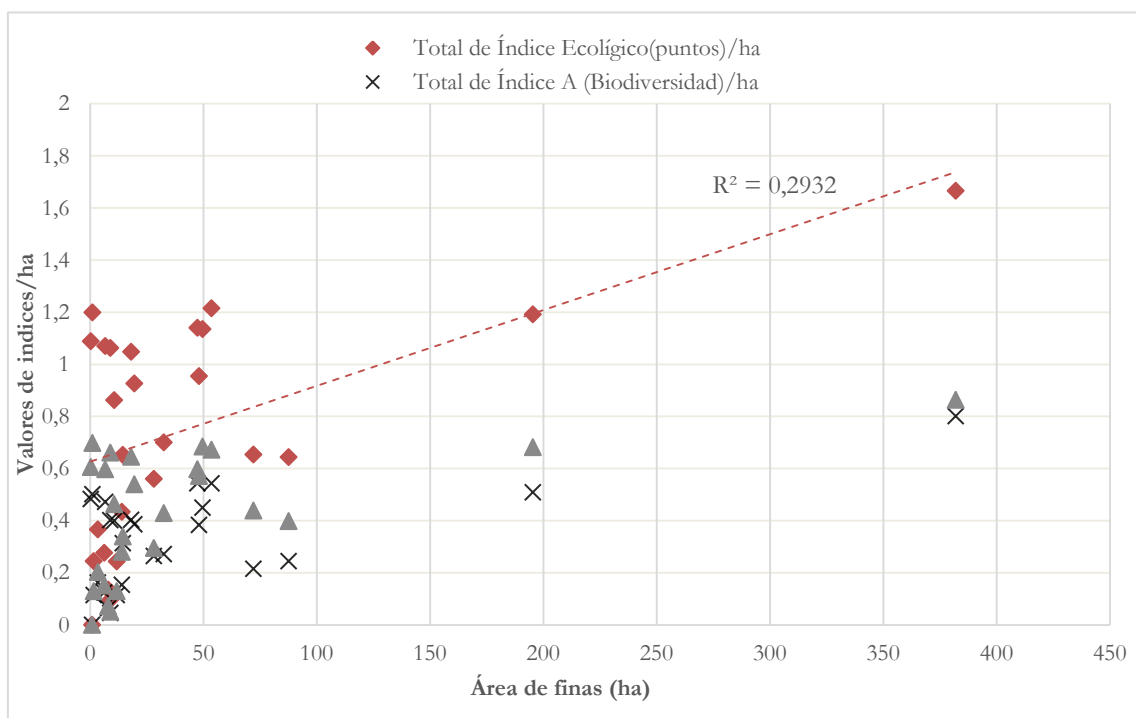
	Índice/Ha/Finca	
	Biodiversidad (A)	Carbono (B)
<b>Rango</b>	0 a 0.80 puntos	0 a 0.86
<b>Media</b>	0.32	0.43

Las Figuras 3 y 4 muestran la relación existente entre los valores de los índices por ha., con las superficies de cada finca. En la figura 3 se muestran los resultados con los 26 registros de las 26 fincas, se observa una relación directamente proporcional entre el aumento del área de la finca y el aumento de los valores obtenidos en todos los índices. Esto principalmente se debe a que para el cálculo de los valores de los índices, uno de los insumos es el área o superficie de la finca según el uso de suelo. En la figura 4, donde se representa la misma relación, sin considerar el peso de las dos fincas con mayor superficie y mayor influencia en el valor del índice, se puede observar una menor correlación (valor del índice  $R^2$  de 0.0906). Esto evidencia que si bien el área de la finca tiene un efecto importante en el valor de los índices, no necesariamente una superficie mayor representará índices más altos, ni servicios ambientales mayores. Además, explica que en fincas más pequeñas, los índices/ha son más homogéneos con menor variabilidad.



**Figura 3**

**Relación entre valores de índices y superficie de las 26 fincas**



Nota: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.2932$

Ecuación de regresión  $y = 0.0029x + 0.6257$ . P-value= 0.004.

**Figura 4**

**Relación entre valores de índices y superficie de las 24 fincas.**



Nota: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.0906$

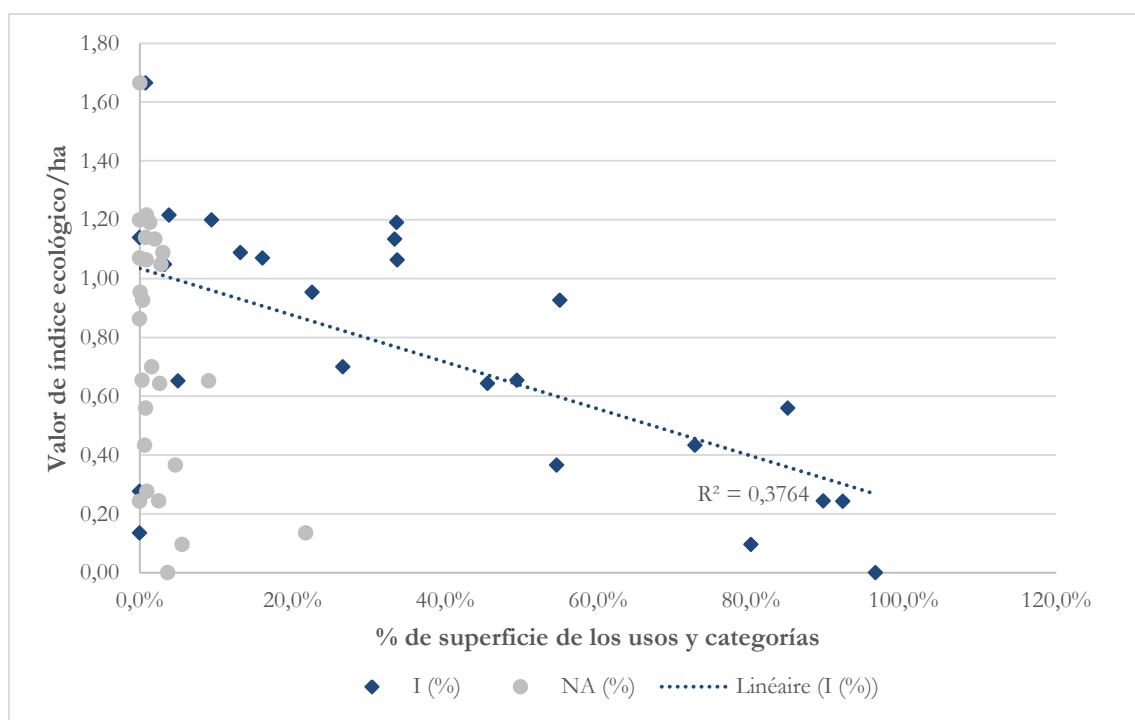
Ecuación de regresión  $y = 0.0049x + 0.5834$ . P-value= 0.15.

## Relación entre valores de índices y las categorías de uso de suelo

La relación entre los porcentajes de área correspondientes a la categoría I (cultivos de ciclo corto) e infraestructura con respecto al valor del índice ecológico/ha obtenido de cada finca se encuentra representado en la Figura 5. El área ocupada por infraestructura no supera el 22% de la superficie total en una finca, además esta categoría tiene nula relevancia en los servicios ambientales del área, por lo que porcentajes de área mayores con este tipo de uso tienden a tener valores menores de índice ecológico. Con respecto a la categoría I (cultivos de ciclo corto), se puede observar una tendencia inversamente proporcional, a medida que el porcentaje de este uso de la tierra va aumentando o acercándose al 100% de la superficie de la finca, los valores del índice ecológico van disminuyendo. Es decir que los servicios ambientales de la finca, relacionados a la captura de carbono y biodiversidad, se ven afectados por la implementación de cultivos de ciclo corto.

**Figura 5**

### Relación entre índice vs. Categoría I e Infraestructura



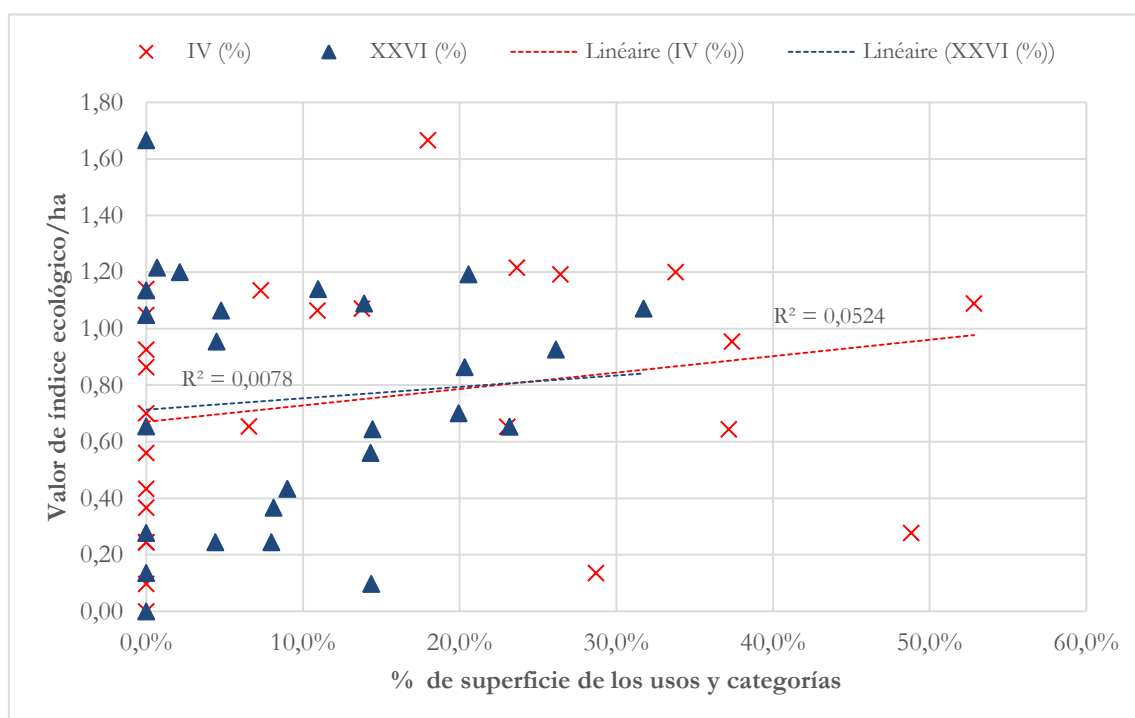
Nota: Valor del índice de correlación  $R^2$  (Categoría I) = 0.3764

Ecuación de regresión  $y = -0.7961x + 1.0347$ . P-value= 0.0009

En la Figura 6, se presenta la relación entre el índice ecológico y el % de la superficie de uso IV (pasto mejorado sin árboles) y XXVI (Bosque secundario intervenido). En relación a la superficie total de la finca, los porcentajes de uso del suelo de bosque secundario intervenido y pasto mejorado sin árboles, no superan el 32 y 53% respectivamente. Como se puede observar en la figura, para ambos usos no se puede establecer una relación o tendencia clara entre los porcentajes de superficie y los valores del índice, presentando valores del índice de correlación  $R^2$  de 0.0524 y 0.0078, respectivamente.

**Figura 6**

**Relación entre índice vs uso IV y XXVI**



Nota: Categoría XXVI: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.0078$

Ecuación de regresión  $y = 0.4035x + 0.7135$ . P-value= 0.667

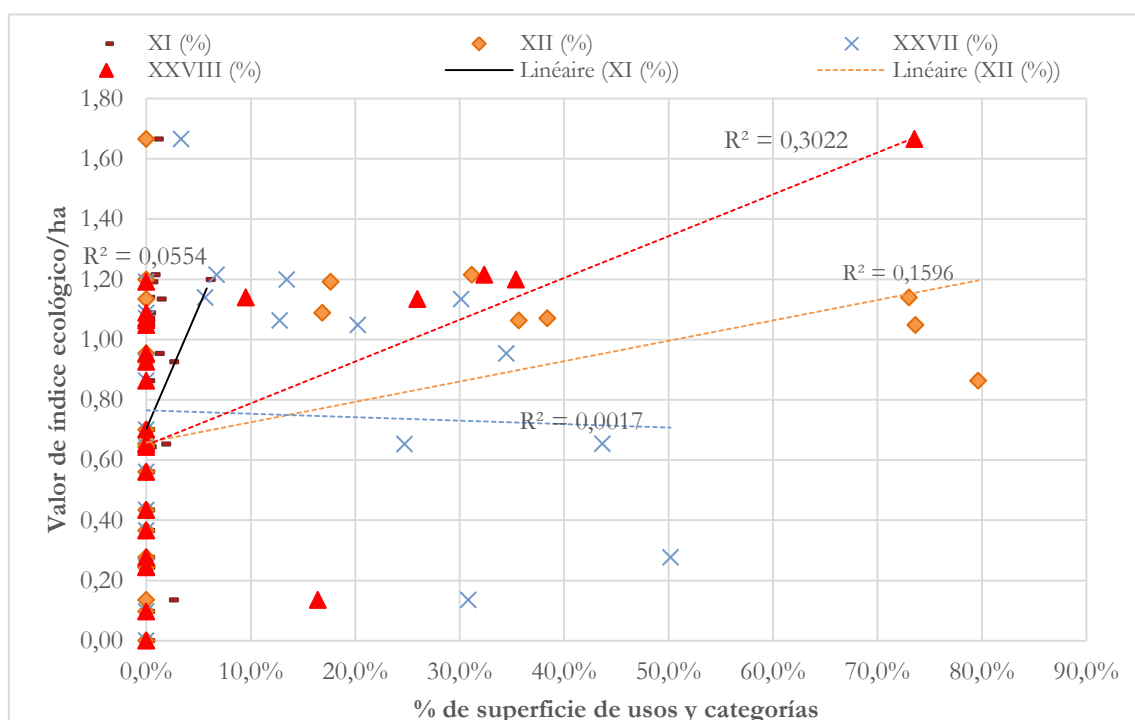
Categoría IV: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.0524$

Ecuación de regresión  $y = 0.5814x + 0.6701$ . P-value= 0.261.

La tendencia del uso XXVIII (bosque primario) muestra que porcentajes altos de superficie de este uso presenta índices elevados por lo que se puede determinar que este uso presenta una influencia positiva directa en el índice ecológico aumentado su valor y de esta forma aportando un mejor nivel de servicios ambientales de la finca. Sin embargo, existen pocas fincas que presentan este uso. Con respecto a la categoría XXVII (bosque secundario con moderadas intervenciones), sucede un efecto casi contrario, a mayores porcentajes de superficie, menores valores de índice ecológico. Con la categoría XI (forraje de hierbas) se puede observar en la figura que las superficies no exceden el 10% de las fincas con bajos valores de índices. La categoría XII (Pastos mejorados con baja densidad arbórea) no se encuentra presente en la mayoría de las fincas, sin embargo tiene un comportamiento variado, las fincas que presentan este uso se mantienen entre valores de índice de 0.86 a 1.22 de forma independiente de la superficie que abarque en la finca, Figura 7.

**Figura 7**

**Relación entre índice vs uso XI, XII, XXVII y XXVIII**



Nota: Categoría XI: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.0554$

Ecuación de regresión  $y = 8.0521x + 0.7034$ . P-value= 0.247

Categoría XII: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.1596$

Ecuación de regresión  $y = 0.6762x + 0.6573$  P-value= 0.043

Categoría XXVII: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.0017$

Ecuación de regresión  $y = -0.1146x + 0.7647$ . P-value= 0.842

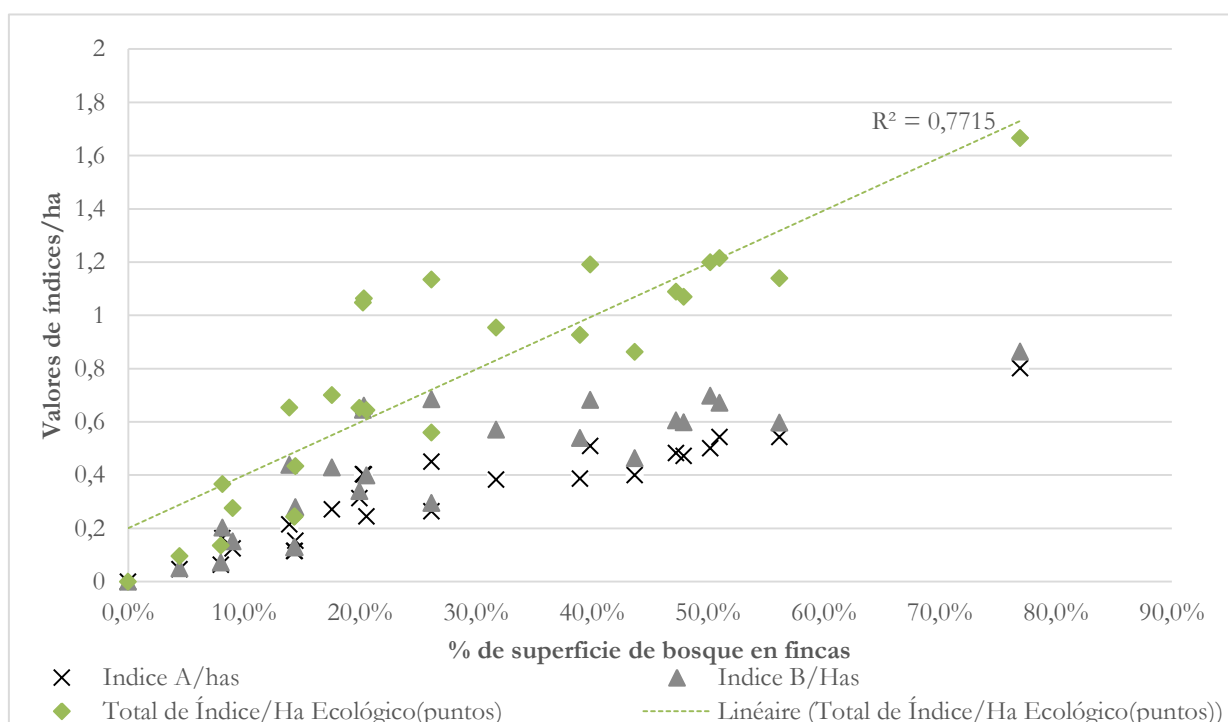
Categoría XXVIII: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.3022$

Ecuación de regresión  $y = 1.3877x + 0.6494$ . P-value= 0.004

La figura 8 muestra la relación entre los valores del índice ecológico y la cobertura de bosques por finca, unificando las 3 categorías relacionadas a bosques (clase XXVI, XXVII, XXVIII). La cobertura de bosques por finca tiene una incidencia positiva en el índice ecológico y de esta forma en el nivel de servicios ambientales de una finca, con un valor de índice de correlación  $R^2$  de 0.77. Independientemente del tipo de bosque con el que cuente la finca, mientras mayor sea el porcentaje de este uso en el área, va a representar un mejor nivel de servicios ambientales.

**Figura 8**

**Relación entre índice y cobertura de bosque por finca**



Nota: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.7715$

Ecuación de regresión  $y = 1.9881x + 0.201$ . P-value= 3.7 E-09

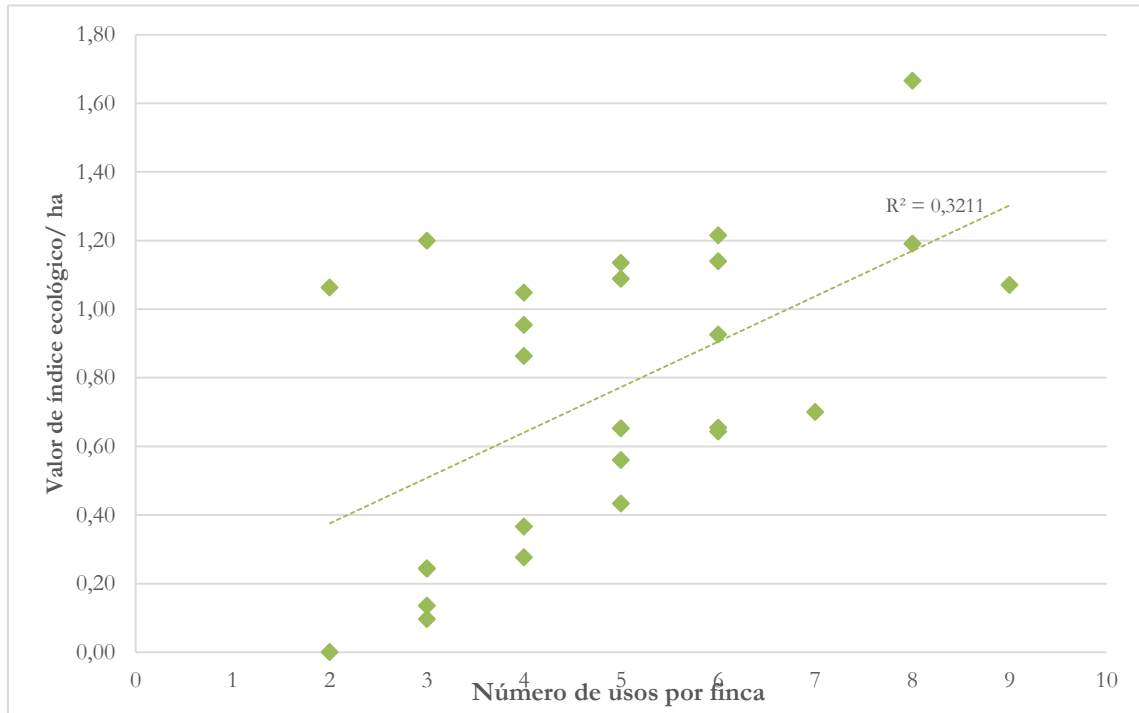
De las categorías que corresponden a pasto, no se evidencia una relación directa entre su cobertura en la finca y los valores obtenidos por el índice, por lo que no se puede establecer que exista un impacto de estas coberturas en los servicios ambientales de la finca. Estos usos son recomendables acompañados por cobertura arbórea y en combinación con otros usos que aporten de forma directa a mejorar los servicios ambientales del área.

**Incidencia de la diversificación de usos en fincas agropecuarias**

Las fincas estudiadas presentan entre 2 a 9 usos diferentes. La diversificación de usos tiene una incidencia positiva en el índice ecológico de la finca (índice de correlación  $R^2$  de 0.32), por ende en los servicios ambientales (Figura 9). Además, fincas que cuentan con menos de 4 usos registran la contratación de menos de 5 empleados, a partir de 4 usos, las fincas registran mayor variedad de empleados (Figura 10). Por lo tanto, fincas con mayor variedad de usos de suelo contarán con mayor importancia ambiental y social en el área, ya que podrían aumentar los servicios ambientales y la contratación de mano de obra de la zona.

**Figura 9**

**Diversificación de usos e índices ecológicos**

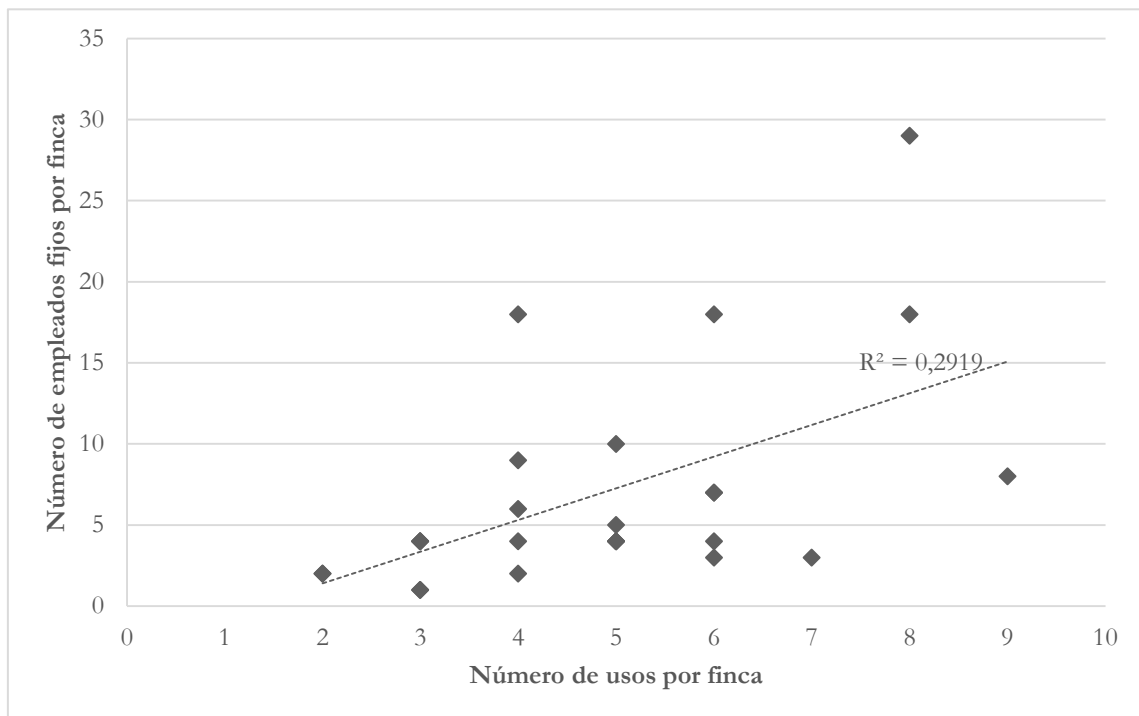


Nota: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.3211$

Ecuación de regresión  $y = 0.1324x + 0.111$  P-value= 0.003

**Figura 10**

**Diversificación de usos y número de empleados**



Nota: Valor del índice de correlación  $R^2 = 0.2919$

Ecuación de regresión  $y = 1.9541x - 2.5081$  P-value= 0.004

## Caracterización de fincas según valores obtenidos en índice ecológico

Se logró establecer una clasificación de las fincas según los valores más altos de índice total e índice por ha, diferenciando que no siempre aquellas fincas que obtuvieron un índice total alto obtuvieron un índice/ha alto (Tabla No. 5).

**Tabla 5: Clasificación de fincas según puntuación**

<i>Ordenados por IE Total</i>					<i>Ordenados por IE/ha</i>				
	Finca	Área	IE total	IE/ha		Finca	Área	IE total	IE/ha
<b>1</b>	Finca 26*	381.93	636.20	1.67	<b>1</b>	Finca 26*	381.93	636.20	1.67
<b>2</b>	Finca 23*	195.47	232.83	1.19	<b>2</b>	Finca 25	53.6	65.15	1.22
<b>3</b>	Finca 25	53.6	65.15	1.22	<b>3</b>	Finca 24	1.05	1.26	1.20
<b>4</b>	Finca 10	87.61	56.38	0.64	<b>4</b>	Finca 23*	195.47	232.83	1.19
<b>5</b>	Finca 21	49.67	56.36	1.13	<b>5</b>	Finca 22	47.34	53.96	1.14

Nota: \*Finca 26 y Finca 23 actualmente son beneficiarias del Programa PSA en Costa Rica.

Según los valores del índice por ha, fincas como la Finca 24 que tienen un área pequeña de 1.05 ha, ha obtenido el tercer valor más alto del índice/ha. De igual forma la Finca 22 que no se encuentra entre los 5 mayores valores del índice total de la finca. Esto quiere decir que estas dos fincas presentan mejores niveles de servicios ambientales por hectárea que en la totalidad de la superficie de la finca. Mientras que fincas como la Finca 10 y la Finca 21 presentan niveles de servicios ambientales altos en la totalidad de la finca, pero menores por hectárea.

**Tabla 6: Características de las 5 fincas con mayor puntuación**

<b>Características físicas</b>	<p>4 de las 5 fincas cuentan con cuerpo de agua cercano</p> <p>Climas templado-lluvioso</p> <p>Altitud de 2,400 a 3,100 metros</p> <p>Presentan riesgo de incendio medio</p> <p>Suelos de tipo inceptisoles</p> <p>Pendiente fuertemente ondulada de 30 a 60%</p> <p>Composición y características geológicas: De composición volcánica: coladas de lava, aglomerados, lahar y cenizas volcánicas con rocas volcánicas intrusivas someras. Formaciones volcánicas del Volcán Irazú</p> <p>Precipitación media anual de 1,500-4,000 mm.</p> <p>Temperatura mínima anual &lt;6°C</p> <p>Temperatura máxima anual 14 a 20°C</p>
<b>Características bióticas</b>	<p>4 de las 5 fincas pertenecientes al corredor biológico Cobri Surac*</p> <p>Zonas de vida presentes: Bosque muy húmedo montano, bosque pluvial montano, bosque húmedo montano bajo.</p> <p>Piso altitudinal de zona de vida: Montano bajo a Montano</p> <p>Unidades bióticas por humedad: Húmeda, muy húmeda y pluvial</p>
<b>Características socioeconómicas</b>	<p>Propietarios de la finca con alto nivel educativo</p> <p>3 de las 5 fincas cuentan con más de 18 empleados fijos. Las 2 fincas restantes cuentan con 11 y 3 empleados.</p> <p>4 de las 5 fincas se encuentran sobre los 14 años de actividad. 1 en 5 años de actividad.</p> <p>4 de las 5 fincas mantenían un uso histórico de la superficie de la finca como potrero.</p> <p>2 de las 5 fincas participan en programa por pagos por servicios ambientales aplicando desde 1997 con modalidad de protección, encontrándose insatisfechos con el programa.</p> <p>Los propietarios de las 5 fincas son conscientes de la importancia del bosque por sus funciones de: agua y biodiversidad</p>

Nota: \*Corredor biológico localizado en el noroccidente de la cuenca del Río Reventazón, subcuenca Reventado-Agua Caliente (parte alta de la cuenca). Cuenta con bioclimas predominantes del tipo: Bosque Húmedo Premontano; Bosque Húmedo Montano Bajo. Bioclimas menos representativos: bosque húmedo montano bajo; bosque muy húmedo premontano; bosque húmedo montano; bosque pluvial montano (SINAC, 2007).

Las diferencias en características físicas entre las fincas con los 5 mayores valores de índice y los 5 valores más bajos radican en 4 factores: (1) el relieve donde se asientan, (2) precipitación, (3) temperatura mínima y máxima anual, (4) pendiente. Estas variables condicionan algunos factores bióticos como la zona de vida en las que se encuentran las fincas, el piso altitudinal e las unidades bióticas según humedad. Según estos factores, se puede establecer que las fincas presentes en zonas de mayor humedad, con mayor rango de precipitación, temperaturas más bajas, pisos altitudinales montano bajo y montano registran los índices más altos, por lo que estas características favorecen la presencia de usos de suelo con mejores servicios ambientales (Tabla 6). Para ambos tipos de fincas se evidencia la cercanía a cuerpo hídrico, misma composición geológica, pertenencia a corredor biológico Cobri Surac, mismo niveles de índice de desarrollo social. Con respecto al programa de PSA, solo 2 fincas de las mejores puntuadas participan el programa con modalidad de protección (Finca 26 y 23).

Las fincas con mejor puntuación de índice ecológico por ha cuentan con diversificación de 5 a 8 diferentes categorías de usos asignadas, son fincas con superficies mayores a 50 ha y presentan áreas considerables con cobertura boscosa. Mientras que aquellas fincas con menores puntuaciones, cuentan con poca diversificación de usos, áreas menores a 10 ha, y presentan áreas considerables de usos asignados a categoría I de cultivos y bajo porcentaje de cobertura boscosa.

## Discusión

El estudio de caso que se analiza en el presente documento, se desarrolla en un contexto nacional particular. Costa Rica es un país que ha tenido una gran diversidad de cambios políticos y económicos que le han llevado a promover medidas ambientales que son referentes para otros países. El sector agrícola del país es uno de los sectores más relevantes en el sector rural, por esto la importancia de analizar sus características y comportamiento. Uno de los impactos ambientales que tienen las actividades agropecuarias es la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la deforestación de bosques tropicales. Según datos publicados por (FAO, 2017), las actividades del sector agrícola que más emisiones de CO<sub>2</sub> producen en Costa Rica, son: fermentación entérica; estiércol depositado en pasturas y los fertilizantes sintéticos; representando el 56.7%; 19.2% y 13.4% de las emisiones promedio en el país entre 1990 y 2014. Los aportes de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente provenientes de las actividades agrícola para el 2014 en Costa Rica alcanzaron los 3466.06 gigagramos. Durante el periodo 1990 al 2014 estas emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente producidas en las actividades agrícolas han tenido un comportamiento variado, a partir de 1993 a 1996 las emisiones decrecieron hasta mantenerse en rangos moderados sin grandes fluctuaciones.



Los valores más bajos se encuentran en los años 2002 y 2004, esto se debe a los principales cambios legislativos que se fueron produciendo en años anteriores.

Además, de los aportes de CO<sub>2</sub> a la atmosfera que tienen las actividades agropecuarias, en las zonas rurales por cambios los usos de suelo, existe un efecto en los servicios ambientales. Se ha demostrado que el cambio de uso de la tierra (de bosques a agricultura intensiva) conlleva a formas de producción no sostenibles, y degradación ambiental en perjuicio de la calidad de vida de la población y de la sociedad en general (Malavasi, Mora, & Carvajal, 2003).

En estudios de áreas cercanas, se han identificado seis cambios importantes en la cobertura de la tierra (1) de la agricultura a los bosques jóvenes (después del abandono de plantaciones de café y pastos); (2) de bosques jóvenes a viejos (regeneración forestal); (3) de bosques antiguos o jóvenes a la agricultura (expansión de pastos, café y cultivos); (4) cambio en la producción agrícola; (5) de bosques antiguos a jóvenes (degradación forestal); (6) urbanización. De estos cambios, las dos primeras clases han ido aumentando su porcentaje en el período del 2001 al 2008 (Vallet et al., 2016).

Para esta investigación, las fincas han presentado valores del índice de biodiversidad por ha desde 0 a 0,80 puntos, con una media 0,32 y con el 61,54% de las fincas con valores hasta 0,40. Mientras que el índice de carbono por ha comprende valores de 0 a 0,86 con media de 0,43 y el 61,54% de las fincas presentan valores hasta 0,58 puntos. De esta forma, se puede notar que el índice de almacenamiento de carbono presenta valores mayores, siendo este servicio ambiental más relevante para este tipo de paisaje agropecuario presente en la zona (Mendoza & Newthorn, 2011). Además, que según estudios recientes, los cambios actuales de uso de suelo están siendo impulsados por la demanda de servicios ambientales de regulación (principalmente servicios hidrológicos y de captación de carbono), así como la demanda de servicios culturales y turismo (Vallet et al., 2016). Esta tendencia le otorga mayor importancia a estos servicios ambientales, para mejorar sus mecanismos de valoración y análisis.

Costa Rica es uno de los países pioneros en implementar un programa de PSA, que es considerada como una herramienta para promover la conservación de la biodiversidad, reducir el impacto del cambio de uso de suelos, entregando incentivos financieros a actores locales (Newton, Nichols, Endo, & Peres, 2012). A pesar que el programa de PSA en Costa Rica no fue diseñado como un mecanismo de mitigación de la pobreza en medios rurales, ha tenido efectos colaterales en este sentido (Malavasi et al., 2003). En un análisis presentado por Ortiz Malavasi et al., (2003) determinó que el programa PSA en su modalidad de protección no genera más puesto de trabajo, la generación de empleo se deriva del manejo forestal del área. Según el análisis realizado, las fincas con mayor variedad de usos de suelo cuentan con mayor cantidad de empleados, dándole una relevancia local y social que podría ser tomada en cuenta para la asignación de incentivos como el programa PSA.

Por otro lado, Ortiz Malavasi et al., (2003) en su estudio indica que el efecto de un programa de PSA en modalidad de protección podría tener un efecto negativo en la generación de empleo si se aplica en sitios con capacidad de uso agrícola, que en Costa Rica

está sucediendo en un 23,1% del área que se encuentra bajo esta modalidad. Además que, en tierras con alta capacidad de uso agrícola, la renta por programa PSA-Protección es inferior a la obtenida con usos alternativos, tales como ganadería, caña, leche, café, etc.(Ortiz Malavasi et al., 2003). Este es un factor importante que debería considerarse, el programa de PSA podría plantear un enfoque en el cual se promueva la mayor diversificación de usos de suelo de manera sostenible, ya que según lo determinado en el presente estudio, la diversificación de usos de suelo tiene una incidencia positiva en los servicios ambientales, representado en el índice ecológico por ha de las fincas analizadas. Los propietarios de la tierra toman la decisión de hacer cambio de uso de la tierra, sin tomar en cuenta el valor de servicios ambientales de los bosques, ya que estos no estaban siendo valorados, tanto en el nivel local como en el internacional (Malavasi et al., 2003). Por lo que es necesario buscar mecanismos que atraigan a los propietarios a participar al programa. Esto se puede lograr a través de la promoción de la diversificación de usos que además de tener un efecto en el mantenimiento de servicios ambientales, generará alguna renta y beneficio económico a los propietarios.

Una de las opciones, podría ser la promoción del mejoramiento de las áreas de pasto con el aumento de cobertura arbórea de las fincas, que puede aumentar el potencial de secuestro de carbono de áreas agrícolas. A nivel de paisaje, este servicio ambiental puede incrementarse a través de medidas como la inserción de plantaciones forestales y abandonando áreas no aptas para la producción agropecuaria para dar paso a la regeneración natural de bosques secundarios (Casasola, Ibrahim, Sepúlveda, Ríos, & Tobar, 2009). Diversificar las actividades dentro de las fincas podrá tener un efecto positivo en los servicios ambientales, incluir medidas de agroforestería o modelos silvopastoriles, permite disminuir el impacto de estas actividades sobre los ecosistemas donde se desarrolla (Mahecha, 2002).

Los árboles en las zonas agrícolas son una importante contribución a la conservación, ya que proveen de hábitats en zonas no protegidas y contribuyen a proveer servicios ambientales en estas zonas (Sibelet, Chamayou, Newing, & Gutiérrez, 2016). Las pasturas arborizadas bien establecidas mitigan los efectos ambientales perjudiciales de los sistemas ganaderos tradicionales, ya que fijan carbono (Ibrahim, Villanueva, Casasola, & Rojas, 2006).y aumentan la biodiversidad (Ibrahim et al., 2006) (Zapata, Murgueitio, Mejía, Zuluaga, & Ibrahim, 2006). Además, las técnicas de agroforestería permiten combinar especies arbóreas con especies arbustivas o herbáceas cultivadas en zonas agropecuarias (Mahecha, 2002). Implementar cercas vivas, cortinas rompevientos, o incluso árboles dispersos en áreas de pasto impulsará conectividad, reducirá las áreas abiertas de pastizales en un área agropecuaria (Zamora-López, 2006), establecer mini corredores biológicos y hábitats para animales silvestres, incrementando la conexión de fragmentos de bosque y mejorando la conservación de la biodiversidad del área (Zamora-López, 2006). La implementación de árboles en cultivos también aporta con hojarasca y residuos que cubren el suelo protegiéndolo de la escorrentía y erosión, mejorando los contenidos de nitrógeno y retención de nutrientes, favoreciendo los procesos agrícolas (Beer et al., 2003). Los agricultores reconocen el uso de árboles para cercas vivas, producción de madera; protección de vida silvestre; sombra para ganado; protección de cuencas y fuente de leña. Sin embargo, si se reconoce también el valor ecológico de los árboles: vinculados a la protección de cuencas y de la biodiversidad. Otros agricultores han expresado que los árboles en la zona cuentan con valores recreativos, sociales y culturales. En general, los

productores reconocen que el mantenimiento de árboles dentro de zonas productivas mejoran las actividades agrícolas (Sibelet et al., 2016).

## Conclusiones

Los impactos ambientales de las actividades agropecuarias, como la degradación y erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, pérdida de cobertura vegetal, afectan el estado de los servicios ambientales y perjudican el bienestar de las comunidades. Valorar o cuantificar los servicios ambientales en la cuenca del Río Reventazón esta zona es de gran importancia para no solamente conocer el estado actual de los ecosistemas naturales sino también para identificar cómo determinadas medidas dentro de las actividades agropecuarias pueden aportar con servicios ambientales y promover el desarrollo sostenible.

Actividades y usos de la tierra que consideren coberturas boscosas tienen incidencia positiva en los servicios ambientales de las regiones. Mientras mayor sea el porcentaje de cobertura boscosa en el área, va a representar un mejor nivel de servicios ambientales otorgándole una mejor valoración a la finca. Si bien, las actividades agrícolas y ganaderas han demandado deforestación de zonas de bosque, es posible mitigar ciertos efectos de la deforestación a través de la promoción de diversificación de usos, actividades y medidas de agroforestería y sistemas silvopastoriles. Mayor variedad de usos de suelo (Cultivo, pasto, cercas vivas, áreas forestales entre otros) tiene efectos ambientales y sociales relevantes en la zona, manteniendo servicios ambientales de importancia, esta característica podría valorarse de mejor forma en un programa PSA.

El impacto de la valoración y caracterización de servicios ambientales en las fincas agrícolas, permite tener una línea de base para la implementación de programa PSA. De esta forma que se puede promover cambios de usos de la tierra que favorecen tanto la conservación de biodiversidad, como el aumento de la captura de carbono. Además de permitir el diseño de mejoras al programa, aportando una visión integral entre las actividades agropecuarias y los servicios ambientales que pueden proveer.

## Referencias Bibliográficas

- Banco Interamericano de Desarrollo. (27 de Febrero de 2017). *Agrimonitor*. Obtenido de <http://agrimonitor.iadb.org/en/countries/CR>
- Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería En Las Américas*, 10, 80–87.
- Canet, L. (2008). *Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca*. Retrieved from [http://www.eco-index.org/search/pdfs/1152report\\_3.pdf](http://www.eco-index.org/search/pdfs/1152report_3.pdf)
- Casasola, F., Ibrahim, M., Sepúlveda, C., Ríos, N., & Tobar, D. (2009). Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza, Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas. *Políticas Y Sistemas de Incentivos Para El Fomento Y Adopción de Buenas Prácticas Agrícolas Como Una Medida de Adaptación Al Cambio Climático En América Central*, 169–204.
- CSRA Central Oriental. (2015). *Plan regional de desarrollo agropecuario y rural central oriental 2015-2018*.

- Retrieved from  
[http://www.infoagro.go.cr/MarcoInstitucional/Documents/PLANES/PRDAR\\_2015-2018\\_CENTRAL-ORIENTAL.pdf](http://www.infoagro.go.cr/MarcoInstitucional/Documents/PLANES/PRDAR_2015-2018_CENTRAL-ORIENTAL.pdf)
- Engel, S., Pagiola, S., & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological Economics*, 65(4), 663–674.  
<http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011>
- FAO. (27 de Febrero de 2017). *FAOSTAT*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#country>
- Häyhä, T., & Franzese, P. P. (2014). Ecosystem services assessment: A review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 289, 124–132.  
<http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.07.002>
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F., & Rojas, J. (2006). Silvopastoral systems as a tool for the improvement of productivity and restoration of the ecological integrity of cattle production landscapes. / Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restuaración de la. *Pastos Y Forrajes*, 29(4), 383–419. Retrieved from  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lah&AN=20073245098&site=ehost-live%5Cnemail:mibrahim@catie.ac.cr>
- Mahecha, L. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 226–231.
- Malavasi, E. O., Mora, L. S., & Carvajal, C. B. (2003). *Impacto del Programa de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica como medio de reducción de la pobreza en los medios rurales*. Retrieved from  
<http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/ICAP/UNPAN027094.pdf>
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehlreter, K., ... Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1856–1863. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.023>
- Masera, O. R., Garza-Caligaris, J. F., Kanninen, M., Karjalainen, T., Liski, J., Nabuurs, G. J., ... Mohren, G. M. J. (2003). Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: The CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling*, 164(2–3), 177–199. [http://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00419-2](http://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00419-2)
- Mendoza, P., & Newthorn, J. (2011). *Evaluación de servicios ambientales en sistemas agroforestales con café en fincas bajo diferentes tipos de certificaciones en Turrialba, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Retrieved from  
[http://biblioteca.catie.ac.cr/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=72](http://biblioteca.catie.ac.cr/index.php?option=com_wrapper&Itemid=72)
- Metzger, M. J. J., Rounsevell, M. D. A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., & Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(1), 69–85. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025>
- Newton, P., Nichols, E. S., Endo, W., & Peres, C. A. (2012). Consequences of actor level livelihood heterogeneity for additionality in a tropical forest payment for environmental services programme with an undifferentiated reward structure. *Global Environmental Change*, 22(1), 127–136. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.006>
- OECD. (2015). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2015*. doi:10.1787/agr\_pol-2015-en
- Pagiola, S. (2006). Payments for Environmental Services in Coasta Rica. *Ecological Economics*, 65(4), 712–724. Retrieved from  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907004235>
- Pedroni, L., Espejo, A., & Villegas, F. (2015). *Nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF : metodología y resultados Agradecimientos*. Retrieved from <https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/2015/October/6-Costa-Rica-Nivel-de-referencia-Spanish.pdf>
- Robalino, J., Pfaff, A., Sánchez-Azofeifa, G. A., Alpízar, F., León, C., & Rodríguez, C. M. (2008). Deforestation Impacts of Environmental Services Payments: Costa Rica's PSA Programa

- 2000-2005. *Program Environment for Development*, (No. dp-08-24-cfd).
- Sibelet, N., Chamayou, L., Newing, H., & Gutiérrez, I. (2016). Perceptions of trees outside forests in cattle pastures : looking for a new scope for land sharing within the Central Volcanic Talamanca Biological Corridor , Costa Rica. *Human Ecology*. doi: 10.1007/s10745-017-9924-3
- SINAC. (2007). *Ficha Técnica Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado - Agua Caliente (COBRI SURAC)*.
- Vallet, A., Locatelli, B., Levrel, H., Pérez, C. B., Imbach, P., Carmona, N. E., ... Oszwald, J. (2016). Dynamics of ecosystem services during forest transitions in Reventazón, Costa Rica. *PLoS ONE*, 11(7). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0158615>
- Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., & Sepúlveda, C. (2011). Ecological Indexing as a Tool for the Payment for Ecosystem Services in agricultural landscapes. The experience of the GEF-Silvopastoral Project in Costa Rica, Nicaragua and Colombia. In B. Rapidel, F. DeClerck, J.-F. Le-Coq, & J. Beer (Eds.), *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment* (Earthscan, pp. 141–161). Taylor & Francis.
- Wunder, S., Wertz-Kanounnikoff, S., & Moreno-Sánchez, R. (2007). Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, 84–85, 39–52. <http://doi.org/10.1016/j.jcp.2010.12.013>
- Zamora-López, S. E. (2006). *Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura , composición , conectividad y el stock de carbono presente en el paisaje ganadero de Esparza , Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Retrieved from <http://www.sidalc.net/repdoc/A0835e/A0835e.pdf>
- Zapata, Á., Murgueitio, E., Mejía, C., Zuluaga, A., & Ibrahim, M. (2006). Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la cuenca media del río La Vieja, Colombia. *Agroforesteria En Las Américas*, 45, 86–92. <http://doi.org/10.1186/1471-213X-8-24>



# **Anexos**

## **Anexo I. Valoración de categorías de usos de suelo por índice**





## Anexo I. Valoración de categorías de usos de suelo por índice

Clave	Uso de suelo	Índice de biodiversidad (a)	Índice de carbono (b)	Índice ecológico (a+b)
I	Cultivos de ciclo corto: Ciclo menor a 12 meses, como granos (maíz y fréjol), verduras y tubérculos.	0,0	0,0	0,0
II	Pasto degradado con menos del 50% de cobertura de hierba y forraje deseado; presencia mínima de árboles y/o arbustos. Presenta claros signos de erosión.	0,0	0,0	0,0
III	Pasto natural sin árboles: Pasto dominado por especies nativas y/o introducidas sin árboles o arbustos	0,1	0,1	0,2
IV	Pasto mejorado sin árboles: Pasto dominado por especies introducidas resistentes y con alta productividad, con cobertura superior al 90% y sin árboles y/o arbustos.	0,1	0,4	0,5
V	Cultivos semi-perennes sin sombra: Cultivos de plátano o café con 2000 árboles o más por hectárea con completa exposición solar. Mínima presencia de sombra o árboles frutales.	0,3	0,2	0,5
VI	Pasto natural con baja densidad de árboles: Pasto dominado por especies nativas o naturales con densidad inferior a 30 árboles por ha, DAP mayor a 5 cm y menor de 2m de altura	0,3	0,3	0,6
VII	Pasto natural enriquecido con baja densidad arbórea: Pasto dominado por especies nativas y/o naturales, árboles recientemente plantados con DAP de hasta 5 cm, altura mayor a los 0,5 m y con densidad mayor a los 30 árboles por ha.	0,3	0,3	0,6
VIII	Cerca viva simple: Sistema lineal de árboles que son periódicamente podados (al menos 2 veces al año) para forraje o abono.	0,3	0,3	0,6
IX	Pastos enriquecidos y mejorados por baja densidad arbórea: Pasto dominado por especies muy resistentes y productivas; con árboles recién plantados de hasta 5 cm de DAP, con altura mayor a 0,5 m, y con densidad de 30 árboles por ha.	0,3	0,4	0,7
X	Plantaciones de huerto (monocultivo): plantaciones de árboles frutales perennes o árboles frutales tropicales o cítricos semi-perennes cultivados de forma homogénea.	0,3	0,4	0,7
XI	Forraje de hierba: Pasto cortado o alta densidad de forraje de caña de azúcar; con o sin árboles.	0,3	0,5	0,8
XII	Pastos mejorados con baja densidad arbórea: Pastos dominados por especies muy resistentes, altamente productivas o especies introducidas con densidad menor a 30 árboles por ha, DAP mayor a 5 cm y 2 metros de altura	0,3	0,6	0,9
XIII	Forraje de arbustos: Alta densidad arbustiva (más de 10 000 plantas por ha)	0,4	0,5	0,9
XIV	Pasto natural con alta densidad arbórea: Pasto dominado por especies nativas y/o introducidas con densidad mayor a 30 árboles por ha, DAP mayor a 5 cm y altura de 2 m.	0,5	0,5	1,0
XV	Plantaciones de huerto (policultivo): Plantaciones de	0,6	0,5	1,1

	árboles o arbustos frutales, perennes o semi-perennes, o cultivos mixtos cítricos en varios estratos.			
<b>XVI</b>	Cercas vivas multi-estrato: Sistemas lineales con árboles que crecen libremente en múltiples estratos o con mínimo un estrato superior, al menos 4 m de ancho, 4 m de alto o 4 m de copa.	0,6	0,5	1,1
<b>XVII</b>	Forraje diversificado: Pastos, cultivos de caña de azúcar o arbustos cortos en diversos estratos (al menos 4 especies) con estrato superior de árboles de al menos 4 m.	0,6	0,6	1,2
<b>XVII I</b>	Plantaciones forestales de maderables (monocultivo): Plantación homogénea de árboles de una misma especie, plantados con alta densidad, mayor a 500 árboles por ha.	0,4	0,8	1,2
<b>XIX</b>	Sistema agroforestal de cultivos de café: Plantaciones de café con árboles de sombra de varias especies, con la cubierta de al menos el 25% del dosel o estrato superior	0,6	0,7	1,3
<b>XX</b>	Pasto mejorado con alta densidad de árboles: Pastos dominados por especies muy resistentes y productivas de especies introducidas donde los árboles son maduros y con densidad mayor a 30 árboles por ha.	0,6	0,7	1,3
<b>XXI</b>	Bosque o plantación de guadua (bambú): Bosque o plantación homogénea o mixta de guadua u otras especies de bambú.	0,5	0,8	1,3
<b>XXII</b>	Plantaciones forestales de maderables (Policultivos): Plantaciones intensivas de árboles maderables de al menos 3 especies nativas o introducidas plantados con una densidad mayor a 500 árboles.	0,7	0,7	1,4
<b>XXII I</b>	Sucesión de matorrales: Vegetación nativa en sucesión natural de al menos 5 m de altura.	0,6	0,8	1,4
<b>XXIV</b>	Bosque de ribera: Vegetación natural de diferentes estratos en orillas de cuerpos de agua con un ancho mínimo de 4 m.	0,8	0,7	1,5
<b>XXV</b>	Sistema silvopastoril intensivo: Pastos muy resistentes y productivos asociados con forraje de arbustos de alta densidad, mínimo 5000 árboles por ha; además pastos mejorados con filas de árboles maderables de alta densidad.	0,6	1,0	1,6
<b>XXVI</b>	Bosque secundario intervenido: Bosque nativo con un área de base mayor a 10 m <sup>2</sup> , intervenido (alta extracción de árboles no maderables, caza, corte parcial); remanentes de cualquier tamaño.	0,8	0,9	1,7
<b>XXVI I</b>	Bosque secundario: Bosque nativo con moderadas intervenciones en las últimas décadas; alta biodiversidad; área mayor a 10 m <sup>2</sup> ; remanentes de cualquier tamaño.	0,9	1,0	1,9
<b>XXVI II</b>	Bosque primario: Bosque nativo sin intervenciones en los últimos 30 años, más del 80% de la cobertura vegetal y alta biodiversidad, remanentes de cualquier tamaño.	1	1,0	2,0
<b>NA</b>	Infraestructura (vías, casas hacienda, etc.)	0,0	0,0	0,0

Fuente: (Villanueva et al., 2011)